

陈 谊, 陈星如, 常巧英, 等. 一种基于AHP-E模型的多因子农药残留污染综合评价方法[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(2): 276-283.

CHEN Yi, CHEN Xing-ru, CHANG Qiao-ying, et al. A multi-factor comprehensive method based on the AHP-E model for evaluating pesticide residue pollution[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(2): 276-283.

# 一种基于AHP-E模型的多因子农药残留污染综合评价方法

陈 谊<sup>1</sup>, 陈星如<sup>1</sup>, 常巧英<sup>2</sup>, 范春林<sup>2</sup>

(1.北京工商大学食品安全大数据技术北京市重点实验室, 北京 100048; 2.中国检验检疫科学研究院, 北京 100176)

**摘 要:**为了能对某地区不同农产品受农药残留污染程度以及不同时间段受农药残留污染程度进行综合定量评价,提出一种基于层次分析法和熵值法AHP-E模型的多因子农药残留污染综合评价方法。该方法首先根据农药残留检测结果,综合考虑农药毒性、检出频次、检出含量、超标情况多方面因素,选择评价因子;然后应用层次分析法对不同农产品受农药残留污染的程度进行评价,用熵值法对不同时间段受农残污染的程度进行评价。以2013年3月至6月A市6种农产品中农药残留检测结果为例进行案例研究,对6种农产品受农残污染程度从高到低排序发现,按农残检出率和超标率两个单因子评价指标进行排序的结果分别为黄瓜、苹果、番茄、青椒、芹菜、韭菜和芹菜、韭菜、黄瓜、苹果、番茄、青椒;而用本文综合评价方法计算得出的排序结果为韭菜、芹菜、黄瓜、青椒、番茄、苹果。对不同时间段受农残污染程度进行排序发现,按农残检出率和超标率单指标进行排序的结果均为5月、4月、3月、6月,与本文方法的排序结果一致。对比单因子和多因子评价排序结果发现他们既有联系又有差异,造成差异的原因是单属性评价方法考虑因素单一,而本文提出的综合评价模型能较全面反映农药残留的污染情况,并有效突出不同农产品之间农药残留污染程度的差距。

**关键词:**农药残留污染;综合评价方法;多因子;层次分析法;熵值法

中图分类号:X592 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2019)02-0276-08 doi:10.11654/jaes.2018-0712

## A multi-factor comprehensive method based on the AHP-E model for evaluating pesticide residue pollution

CHEN Yi<sup>1</sup>, CHEN Xing-ru<sup>1</sup>, CHANG Qiao-ying<sup>2</sup>, FAN Chun-lin<sup>2</sup>

(1.Beijing Key Laboratory of Big Data Technology for Food Safety, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 2.Chinese Academy of Inspection Quarantine, Beijing 100176, China)

**Abstract:** To evaluate the degree of pesticide residue pollution in different agricultural products and over different time periods, a comprehensive evaluation method based on the analytic hierarchy process (AHP)-entropy (E) model for pesticide residue pollution was proposed. With this method, the evaluation factors were first selected from the results of pesticide residue detection, in which many factors, including pesticide toxicity, the frequency of which pesticides were detected, the pesticide content, and the level of exceeding the MRL (Maximum Residue Limit), were considered. Then, the AHP was applied to assess the degree of pesticide residue pollution in different agricultural products, and the entropy method was applied to assess the degree of pesticide residue pollution over different time periods. The case study used in this study was from the results of pesticide residue detection on six agricultural products in City A from March to June in 2013. For the de-

收稿日期:2018-05-30 录用日期:2018-07-20

作者简介:陈 谊(1963—),女,北京人,教授,从事信息可视化与可视分析、食品安全数据分析研究。E-mail:chenyi@th.btbu.edu.cn  
陈星如与陈谊同等贡献

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD29B01-2);虚拟现实技术与系统国家重点实验室开放基金(BUAA-VR-17KF-07);国家科技基础性工作专项(2015FY111200);2018年研究生科研能力提升计划项目;国家重点研发计划项目(2018YFC1603602)

Project supported: “Twelfth Five Year Plan” National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China (2012BAD29B01-2); Open Funding Project of State Key Laboratory of Virtual Reality Technology and Systems, Beihang University (BUAA-VR-17KF-07); Basic Research Project of the Ministry of Science and Technology (2015FY111200); 2018 Graduate Student Scientific Research Ability Enhancement Project Funding; National Key Research and Development Program of China (2018YFC1603602)

degree of pesticide residue pollution in the different agricultural products, the ranking of results from higher to lower by two factors, i.e., the detection rate of pesticide residue and the rate of exceedance of the MRL, were cucumber, apple, tomato, green pepper, celery, leek, and celery, leek, cucumber, apple, tomato, green pepper, respectively. However, the ranking of results from higher to lower by the comprehensive evaluation value proposed by this study was leek, celery, cucumber, green pepper, tomato, apple. For the degree of pesticide residue pollution over different time periods, the ranking of results from higher to lower by both the pesticide residue detection rate and the rate of exceeding the MRL were May, April, March, and June, the ranking of results by the method of this study is also the same with evaluation result by the single-factor. Comparing above ranking results by single-factor and multi-factor evaluation, the same and different aspects were found. The reason for the discrepancy was that the evaluation method based on a single factor had limitations in terms of the completeness of evaluation. Our evaluation model in this study can evaluate the degree of pesticide residue pollution more comprehensively and effectively, and can highlight the difference in degree of pesticide residue pollution among different agricultural products.

**Keywords:** pesticide residue pollution; comprehensive evaluation method; multi-factor; analytic hierarchy process; entropy method

农业种植生产过程中,为了控制病虫害、调节植物生长速度,通常需要在农产品上交替地施用多种农药<sup>[1]</sup>。农药的使用虽有助于提高产量,但如超标使用,将对人体健康构成威胁,成为食品安全的一大隐患<sup>[2-3]</sup>。为保障食品安全,控制和规范农药的合理使用,各国政府根据国际食品法典(CAC)食品安全标准<sup>[4]</sup>及本国国情均制定了农药最高残留限量(Maximum residue limit, MRL)标准<sup>[5-6]</sup>,并定期对农产品中的农药残留进行侦测,掌握农药残留污染情况<sup>[7]</sup>。然而,如何根据侦测结果对农药残留污染程度进行综合定量评价是一个亟待解决的问题。

当前对农产品受农药残留污染程度评价的方法主要分为两类:一类是针对某一类污染物进行毒性检验与暴露风险评估<sup>[8-9]</sup>,通过计算安全指数 $IFS_c$ 评价农产品中某种农药残留对消费者健康的影响<sup>[10]</sup>;另一类是采用单指标评价方法,通过统计农产品中农药检出频次、检出含量等信息,与MRL标准进行对比得到检出率与超标率,以反映农产品受农药残留污染的严重程度,用于对某地区农产品中农药残留情况进行监控<sup>[11-13]</sup>。

本文主要针对第二类评价方法提出评价模型。该类方法存在两点不足:(1)采用农产品的农药检出率、超标率等指标评价农药残留污染程度,只能从某一角度反映农残污染情况,侦测结果中其他属性因子如检出农药毒性等信息被忽略,无法全面地对农产品受农药残留污染情况进行分析评价<sup>[14-15]</sup>;(2)同一采样时间包含多种农产品的侦测结果,而当前方法在对某一时间段内农药残留污染情况进行评价时,采用汇总全部农产品的农药检出、超标频次,比较整体检出率、超标率以确定农药残留污染的时序变化情况<sup>[16-19]</sup>,忽略了不同采样农产品农药残留污染的时序

变化情况对各整体数据的时序分析造成的影响。

针对现有评价方法存在的不足,本文综合层次分析法(Analytic hierarchy process, AHP)和熵值法(Entropy Method),提出一种基于AHP-E模型的多因子农药残留污染综合评价方法,能够综合侦测结果中的多属性因子,分别对农产品及不同时间段的农药残留污染情况进行综合评价。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验数据

模型验证实验所用数据涉及的检测样品均由检验人员于每月对监测区域多个采样点随机采样所得,采用LC-QTOF/MS检测技术对采样农产品进行农药化学污染物检测,汇总得到的检测结果数据集包含多种属性:采样地区、采样时间、采样农产品、检出农药名称、农药检出量。

### 1.2 农药属性及污染等级划分

检出农药根据农药毒性可标记为低毒(L)、中毒(M)、高毒(H)、剧毒(V)。农药残留检出量与MRL标准进行对比,得到农药检出频次、农药超标频次等统计结果,以及3个污染等级:1级污染(农残含量 $\geq$  MRL)、2级污染( $0.1MRL \leq$  农残含量  $<$  MRL)、3级污染(农残含量  $<$   $0.1MRL$ )。

### 1.3 实验方法

基于AHP-E的综合评价方法由三部分构成,如图1所示。首先进行数据预处理,将农药侦测结果数据集、农药属性数据集、MRL标准数据集进行整合,得到用于进行农药残留污染评价的数据集,并从中提取评价因子,用于对农产品中农药残留污染程度进行综合评价;其次利用层次分析法对评价因子进行层次划分,通过构建判断矩阵计算因子权值,以得到各农

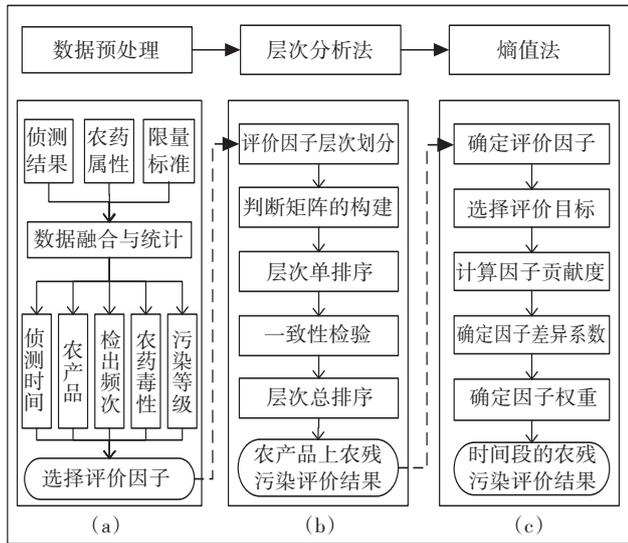


图1 农药残留污染综合评价模型 AHP-E

Figure 1 The comprehensive evaluation model of pesticide residue pollution

产品的农残污染指数,即农药残留污染程度;最后在此基础上,利用熵值法计算不同时间段内各农产品农残污染指数的变化情况,从而确定在评价对比不同时间段的农残污染程度时,各农产品所占的比重,以计算不同时间段的农残污染综合评价结果。

1.3.1 数据融合与评价因子选择

根据农残检测结果、农药属性、MRL标准,对数据进行融合与整理得到检测结果原始汇总表,并选择检出农药毒性与农残污染等级两个属性作为评价因子,用于对农产品受农药残留污染程度进行综合评价,共得到12个因子如表1所示。

表1 评价因子表

Table 1 The evaluation factors

污染等级	低毒(L)	中毒(M)	高毒(H)	剧毒(V)
1级污染	L1	M1	H1	V1
2级污染	L2	M2	H2	V2
3级污染	L3	M3	H3	V3

1.3.2 农产品中农药残留污染综合评价

为综合多属性因子对农产品中农药残留情况进行综合评价,采用层次分析法对污染程度进行计算。层次分析法<sup>[20]</sup>采用定量和定性相结合的方式,由专家意见根据各风险因子对评价目标的重要程度,进行两两对比判断风险因子的相对重要性,进而确定因子权重。与传统的专家权重法<sup>[21]</sup>直接确定因子权重相比,该方法更符合人们在确定因子重要性时存在一定的

模糊性而非定量的习惯,判断矩阵的构建也降低了评价结果的主观性。

根据层次分析法的结构<sup>[22]</sup>将评价问题划分为三部分:目标层、准则层、方案层。其中目标层为模型构建的目的,即对农产品中农药残留污染情况进行综合评价;准则层为用于进行综合评价的指标,根据评价因子存在的层次关系设计结构;方案层为需要进行综合评价的农产品。利用层次分析法进行综合评价的过程如图1(b)所示。

(1)评价因子的层次划分

当评价因子过多时,因子对比过程中容易出现相对重要性判断不一致的情况,理想的层次分析过程中,准则层的评价因子数不超过9个,因此本评价模型对准则层结构进行调整,将12个评价因子分别设置在两层准则层中,构建层次结构如图2所示。

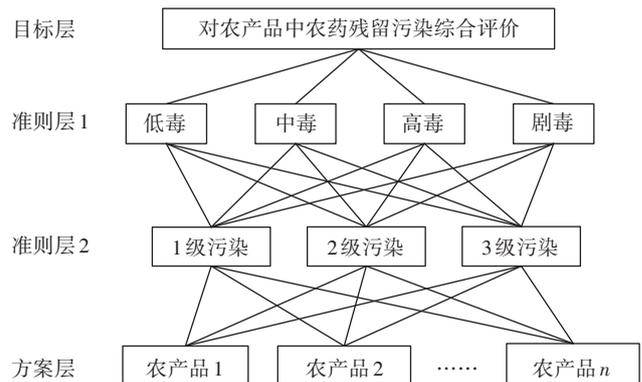


图2 层次结构图

Figure 2 The diagram of AHP model structure

(2)判断矩阵的构造

针对目标层的问题,构造判断矩阵确定评价因子权重。为定量评价因子重要性,采用矩阵标度(1~9标度法)确定因子重要性之比<sup>[23]</sup>(表2),构建由n个因子两两对比得到的判断矩阵 $B=(b_{ij})_{n \times n}$ ,其中 $b_{ij}$ 为根据表2得到的因子i和因子j的重要性之比。

(3)层次单排序

针对上一层某一因素,计算该因素下一层级各因子的权重。根据判断矩阵B计算权重的公式为:

$$BW = \lambda W \tag{1}$$

式中: $\lambda$ 为B的最大特征根,W为对应于 $\lambda$ 的正规化的特征向量,记为 $W = (w_1 \ w_2 \ \dots \ w_i \ \dots \ w_n)$ ,W的分量 $w_i$ 为相应元素单排序的权值。

(4)判断矩阵一致性检验

为确保构建判断矩阵时对因子相对重要性的判

表2 判断矩阵标度

Table 2 Judgement matrix scale

标度	含义
1	两个元素相比,具有相同重要性
3	两个元素相比,前者比后者重要
5	两个元素相比,前者比后者明显重要
7	两个元素相比,前者比后者极其重要
9	两个元素相比,前者比后者强烈重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中间值

注:若元素*i*和元素*j*的重要性之比为 $b_{ij}$ ,那么元素*j*与元素*i*的重要性之比为 $b_{ji}=1/b_{ij}$ 。

断具有一定的一致性,以进一步确定得到的特征向量能够作为因子权重,需对判断矩阵进行一致性检验,使其在一个可允许的范围里,检验过程所需公式如下:

$$CI=(\lambda-n)/(n-1) \quad (2)$$

$$CR=CI/RI \quad (3)$$

式中: $CI$ 为一致性指数; $CR$ 为一致性比率,用于确定判断矩阵*B*的不一致性的容许范围; $n$ 是该层的评价因子个数,当 $CI=0$ 时,判断矩阵*B*具有一致性,否则 $CI$ 越大, $B$ 的不一致程度越高。 $RI$ 为随机一致性指标,由 $n$ 决定, $RI$ 与 $n$ 的对照如表3所示。

表3  $RI$ 与 $n$ 对照表Table 3 Corresponding of  $RI$  to  $n$ 

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$RI$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.24	1.36	1.41	1.46

当 $CR<0.1$ 时,表明*B*的不一致程度在可允许范围内,则 $\lambda$ 对应的特征向量*W*可作为综合评价的权值向量,否则需要重新调整判断矩阵,直至 $CR<0.1$ 。

### (5)层次总排序

层次分析过程具有多层结构,通过层次单排序计算单一元素下对应各因子的权重,当各元素下的权重结果计算完成之后,计算模型全部评价因子的权值。计算公式为:

$$W=W_2^T W_1 \quad (4)$$

式中: $W_1$ 为准则层1中评价因子权值向量; $W_2$ 为准则层2中评价因子权值向量; $W$ 为层次总排序权重矩阵,与表1评价因子表结构对应。将各评价因子权重与评价数据集中各农产品在该评价因子对应等级中的检出频次进行加权求和,得到方案层各农产品中农药残留污染综合评价结果,即各农产品的农药残留污染指数。

### 1.3.3 不同时间段的农药残留污染综合评价

为综合不同农产品的农残污染指数,对不同时间段的农药残留污染情况进行综合评价与比较,利用熵值法进行数据分析与权重计算。过程如图1(c)所示。

#### (1)确定评价因子与评价目标

在对不同时间段的农药残留污染情况进行综合评价时,将农产品作为评价因子,各农产品的农残污染指数作为评价因子值。设定评价矩阵为:

$$X = \begin{matrix} T_1 \\ T_2 \\ \dots \\ T_i \\ \dots \\ T_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

式中: $T_i$ 指第*i*个进行评价的采样时间; $x_{ij}$ 指在采样时间 $T_i$ 时第*j*个农产品的农残污染指数; $m$ 指采样时间段数; $n$ 指该采样时间内采样农产品种类数,即用于对时间段内农药残留污染情况进行综合评价的农产品数目。

#### (2)计算评价因子贡献度

熵值法<sup>[24]</sup>根据因子提供信息量的重要性确定其对最终评价结果的权重<sup>[25]</sup>,在分析不同时间段内农药残留污染变化情况时,若某类农产品在不同采样时间的农残污染指数相差很大,则该类农产品在用于比较不同时间段的农药残留污染情况时具有更大的影响,应该具有更高的权重。因此需要利用以下公式进行贡献度的计算:

$$P_{ij}=x_{ij}/\sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (5)$$

式中: $P_{ij}$ 表示第*j*个因子用于对时间段 $T_i$ 进行综合评价的贡献度。

#### (3)计算因子差异系数

根据因子贡献度,利用以下公式计算因子间的差异系数:

$$e_j = -k \times \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (6)$$

$$k = 1/\ln m \quad (7)$$

$$d_j = 1 - e_j \quad (8)$$

式中: $e_j$ 为第*j*个评价因子的熵值, $k$ 为比例系数,用于确保 $e_j \in [0, 1]$ ;  $d_j$ 为第*j*个因子的差异系数,评价过程中,因子*j*的熵值越小,其所拥有的信息量越大,得到的差异系数 $d_j$ 越大。

(4)确定因子权重

根据因子差异系数,计算各评价因子权重:

$$w_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j \quad (9)$$

若  $d_j=0$ ,表示第  $j$  个因子对于评价过程的影响程度可忽略不计,则其权重  $w_j=0$ 。

(5)计算评价结果

将各因子权重  $W = [w_1 \ w_2 \ \dots \ w_j \ \dots \ w_n]$  与评价矩阵  $X$  的各项进行加权求和  $E = XW^T = [E_1 \ E_2 \ \dots \ E_i \ \dots \ E_m]^T$ ,即得到采样时间  $T_i$  的农药残留污染综合评价结果  $E_i$ 。

2 结果与讨论

2.1 实验结果

本文选择 A 市 2013 年 3—6 月的农药残留侦测结果共 260 条数据作为评价模型的应用实例,综合多因子对农产品中农药残留污染情况进行评价;并以每个月为时间单位,对不同时间段内农作物中农药残留污染情况进行综合评价与比较。将侦测结果数据集与农药毒性、MRL 标准进行融合统计,得到用于进行农药残留污染综合评价的原始数据表。我们从 260 条原始数据中选取 12 条数据进行展示,如表 4 所示。

根据 AHP-E 模型结构,对原始数据集进行预处理,将不同时间段中各类农产品的农药检出频次根据评价因子对应的分类情况进行统计,得到评价因子取值表,如表 5 所示。

2.1.1 农产品中农药残留污染综合评价

使用层次分析法对农产品中农残污染情况进行综合评价。根据农药毒性设计准则层 1 的判断矩阵为:

$$B(\text{toxic}) = \begin{bmatrix} & V & H & M & L \\ V & 1 & 3 & 5 & 7 \\ H & 1/3 & 1 & 3 & 5 \\ M & 1/5 & 1/3 & 1 & 3 \\ L & 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

根据农药检出量的污染等级设计准则层 2 的判断矩阵为:

$$B(\text{grade}) = \begin{bmatrix} & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 3 & 5 \\ 2 & 1/3 & 1 & 3 \\ 3 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

表 4 侦测结果原始数据表(部分)

Table 4 The original data of detection results(Part)

序号	时间	农产品	检出农药	农药毒性	农药检出量/ mg·kg <sup>-1</sup>	MRL/ mg·kg <sup>-1</sup>
1	2013-03	番茄	噻嗪酮	低	0.002 1	2.00
2	2013-03	黄瓜	嘧菌酯	低	0.004 7	0.50
3	2013-03	苹果	多菌灵	低	0.001 4	5.00
4	2013-04	番茄	霜霉威	低	0.001 2	2.00
5	2013-04	黄瓜	甲拌磷	剧	0.094 4	0.01
6	2013-04	芹菜	吡虫啉	低	0.083 5	5.00
7	2013-05	番茄	嘧霉胺	低	0.001 3	1.00
8	2013-05	黄瓜	咪鲜胺	低	0.001 6	1.00
9	2013-05	芹菜	氧乐果	高	0.001 7	0.02
10	2013-06	黄瓜	甲霜灵	低	0.001 2	0.50
11	2013-06	苹果	多菌灵	低	0.029 6	5.00
12	2013-06	芹菜	吡虫啉	低	0.037 8	5.00

表 5 评价因子取值表

Table 5 Evaluation factors' statistics

评价因子	2013-03						2013-04						2013-05						2013-06					
	番茄	黄瓜	韭菜	苹果	芹菜	青椒	番茄	黄瓜	韭菜	苹果	芹菜	青椒	番茄	黄瓜	韭菜	苹果	芹菜	青椒	番茄	黄瓜	韭菜	苹果	芹菜	青椒
L1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L2	0	1	0	1	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
L3	11	9	0	2	0	2	14	29	0	14	1	0	18	31	1	13	1	1	0	7	0	5	1	
M1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
M2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
M3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
H1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
H2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	
H3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	
V1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
V2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
V3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

注:表格中数字表示该农产品对应评价因子分类下的检出频次,即检出该类农药次数。

由该两个判断矩阵得到的单层因子权重及一致性检验结果如表6所示。均满足一致性检验。最后得到两个准则层共12个评价因子的权重如表7所示。

表6 单层因子权重

Table 6 Factor's weight at each layer

项目	污染等级			农药毒性			
	1级	2级	3级	低毒	中毒	高毒	剧毒
单因子权重	0.64	0.26	0.10	0.06	0.12	0.26	0.56
一致性检验	CI=0.019, CR=0.037			CI=0.039, CR=0.044			

将各评价因子权重与表5中各农产品的农药检出频次进行加权求和,得到综合评价结果如图3所示。

### 2.1.2 不同时间段农药残留污染综合评价

经过层次分析法已经得到A市每个月各农产品的农药残留污染指数,在此基础上利用熵值法对不同采样时间农药残留污染情况进行综合评价。将3—6月的全部农产品农药残留综合评价结果代入公式(5)~公式(9),得到各农产品在时间段内农药残留污染综合评价过程中的权值,如表8所示。

将表8中各农产品权值与不同时间段内农产品的农残污染指数进行加权求和,得到各个时间段的农药残留污染综合评价值,如图4所示。侦测数据集中,A市2013年3—6月农药残留污染程度由高到低依次为5月、4月、3月、6月。

## 2.2 结果对比与讨论

将用本文提出的评价模型得到的2013年5月农产品农药残留污染综合评价结果与采用单属性评价方法得到的农残污染统计结果进行对比,图5为A市2013年5月各农产品中农残检出率和农残超标率的统计结果,其中农残检出率指采样的农产品样本中,检验发现具有农药残留现象的农产品百分比,农残超标率指采样的农产品样本中检出农药残留量超过国家MRL标准的农产品百分比。图6为A市2013年3—6月每个月的农药残留检出率和超标率统计情况。

将图5中的结果与图3结果进行对比。图5根据农残检出率对农产品进行排名,检出率由高到低依次

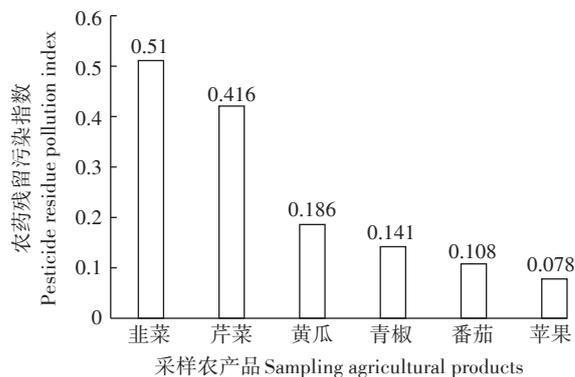


图3 农产品受农药残留污染评价结果(2013年5月)

Figure 3 Evaluation results of pesticide residue pollution in agricultural products (May 2013)

表8 各时间段上农残污染综合评价因子的权值

Table 8 The weight of comprehensive evaluation factors for pesticide residue pollution during certain time period

农产品	番茄	黄瓜	韭菜	苹果	芹菜	青椒
权值	0.073	0.122	0.329	0.045	0.294	0.137

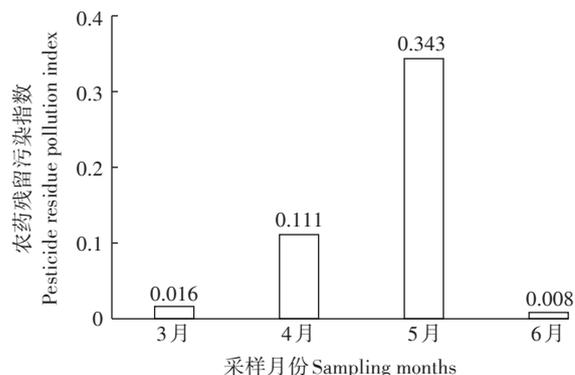


图4 A市2013年3—6月农药残留污染综合评价结果

Figure 4 Evaluation results of pesticide residue contamination in city A from March to June, 2013

为黄瓜、苹果、番茄、青椒、芹菜、韭菜;结合农残超标率发现,黄瓜、苹果、番茄、青椒4种农产品农残检出率虽高,但是不存在农残超标情况,反而农残检出率较低的芹菜、韭菜的超标率超过其余4种农产品,两种不同单指标评价方法得到完全不同的评价结果。本文综合多属性因子进行综合评价结果显示(图3),

表7 评价因子权重表

Table 7 The weight of evaluation factors

因子	L1	L2	L3	M1	M2	M3	H1	H2	H3	V1	V2	V3
权重	0.038	0.016	0.006	0.077	0.031	0.012	0.166	0.068	0.026	0.358	0.146	0.056

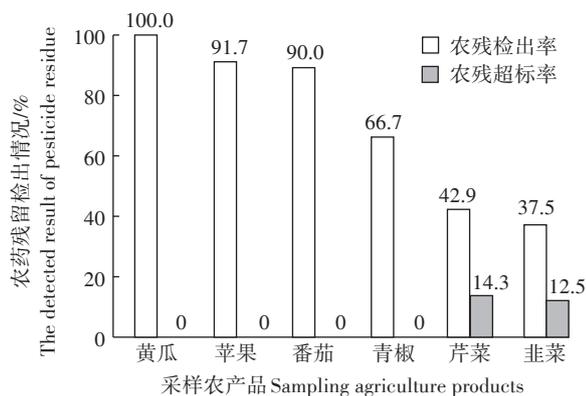


图5 单因子评价农产品农药残留检出情况

Figure 5 The detection result of pesticide on agriculture products with single-factor assess

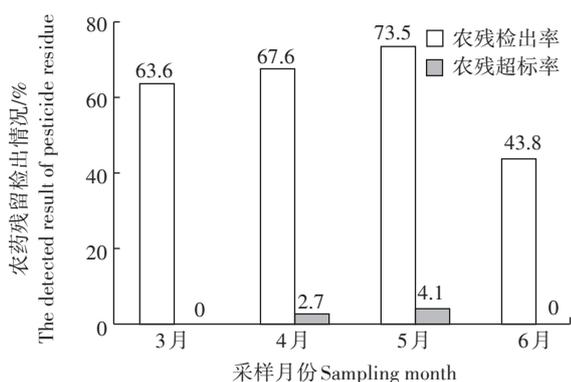


图6 单因子评价时间段内农药残留检出情况

Figure 6 The detection results of pesticide residue in different time periods with single-factor assess

各农产品农残污染程度由高到低依次为:韭菜、芹菜、黄瓜、青椒、番茄、苹果。该排名结果中,存在农残超标现象的韭菜、芹菜和农残检出率较高的黄瓜均排名靠前,特别是检出了高、剧毒农药的韭菜、芹菜的排名发生极大的变化,这种变化也会给予数据分析人员和监管人员以警示。

将图6中的结果与本文中图4结果进行对比。根据农残检出率和农残超标率对不同时间段的农残污染情况进行排序,发现得到一致性排序结果,即由高到低为5月、4月、3月、6月,各月份之间检出率(超标率)差别较小。通过本文提出评价模型进行农残污染程度排序结果(图4)与单属性评价结果一致,但是5月农残污染指数远高于其他月份,这是由于5月农药检出率较高,且部分农产品较其他月份相比存在多次高、剧毒农药检出情况。采用本文评价模型进行时间段的农残污染程度对比时,通过结合多属性因子综合评价,以及比较不同时间段不同采样农产品农残污染

变化情况,能够着重突出检测结果波动较大的时间范围,起到警示作用。

### 3 结论

本文综合农产品的农药残留侦测结果的多属性因子,构建基于AHP-E模型的多因子农药残留污染综合评价方法,对各类农产品中农药残留污染情况进行定量的综合评价。能够进一步得到各时间段内的农残污染综合评价结果并进行对比。该方法同样可以进行不同地区的农药残留污染综合评价及对比。本文将文中评价模型得到的评价结果与传统单属性评价方法进行对比,显示本文提出的模型能够更全面地反映农药残留污染情况,并有效突出不同农产品、不同时间段农药残留污染程度的差距。

#### 参考文献:

- [1] Szpyrka E, słowik-Borowiec M, Matyaszek A, et al. Pesticide residues in raw agricultural products from the south-eastern region of Poland and the acute risk assessment[J]. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 2016, 67(3):237-245.
- [2] 孔志强. 农产品加工及储存过程中农药残留变化规律研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2012.  
KONG Zhi-qiang. Fate of pesticide residues in edible agricultural products by food processing and storage[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [3] Rekha, Naik S N, Prasad R. Pesticide residue in organic and conventional food-risk analysis[J]. *Journal of Chemical Health and Safety*, 2006, 13(6):12-19.
- [4] 刘文, 云振宇, 王乃铝, 等. 我国与国际食品法典委员会(CAC)食品中农药最大残留限量标准的对比分析研究[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(6):380-382.  
LIU Wen, YUN Zhen-yu, WANG Nai-lü, et al. Study on comparison and analysis on standards of pesticide maximum residue limits in food between international codex alimentarius commission and China national standards[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2009, 30(6):380-382.
- [5] 国家卫生和计划生育委员会, 中华人民共和国农业部, 国家食品药品监督管理局. 食品安全国家标准——食品中农药最大残留限量GB 2763—2016[S]. 北京:2016.  
National Healthy and Family Planning Commission of PRC, Then Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard: Maximum residue limits for pesticides in food(GB 2763—2016)[S]. Beijing:2016.
- [6] 宋稳成, 单炜力, 叶纪明, 等. 国内外农药最大残留限量标准现状与发展趋势[J]. *农药学报*, 2009, 11(4):414-420.  
SONG Wen-cheng, SHAN Wei-li, YE Ji-ming, et al. Present situation and development trend of MRLs for pesticides in and outside China[J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2009, 11(4):414-420.

- [7] 庞国芳,常巧英,范春林. 农药残留监测技术研究与监控体系构建展望[J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(10):1083-1090.  
PANG Guo-fang, CHANG Qiao-ying, FAN Chun-lin. Prospects for research of pesticide residue monitoring technique and construction of monitoring systems[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2017, 32(10):1083-1090.
- [8] 李志霞,聂继云,闫震,等. 果品主要真菌毒素污染检测、风险评估与控制研究进展[J]. 中国农业科学, 2017, 50(2):332-347.  
LI Zhi-xia, NIE Ji-yun, YAN Zhen, et al. Progress in research of detection, risk assessment and control of the mycotoxins in fruits and fruit products[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(2):332-347.
- [9] 宫春波,王朝霞,董峰光. 烟台市售茶叶中12种农药残留的监测及其健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(11):4491-4495.  
GONG Chun-bo, WANG Zhao-xia, DONG Feng-guang. Monitoring and risk assessment of 12 kinds of pesticide residues in tea samples sold in Yantai[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2017, 8(11):4491-4495.
- [10] 李俊辉,梁先龙,宋晓婉,等. 2017上半年安徽省部分地区批发市场蔬菜农药残留和风险评估分析[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(30):83-85.  
LI Jun-hui, LIANG Xian-long, SONG Xiao-wan, et al. Analysis of vegetable pesticide residues and risk assessment in wholesale market of parts of Anhui Province in the first half of 2017[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2017, 45(30):83-85.
- [11] 靳欣欣,潘立刚,李安,等. 河北省梨主产区梨果农药残留风险研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(5):1683-1690.  
JIN Xin-xin, PAN Li-gang, LI An, et al. Risk estimation of pesticide residues in pear in Hebei Province[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2015, 6(5):1683-1690.
- [12] 庞国芳,陈谊,范春林,等. 高分辨质谱-互联网-数据科学三元融合技术构建农药残留侦测技术平台[J]. 中国科学院院刊, 2017, 32(12):1384-1396.  
PANG Guo-fang, CHEN Yi, FAN Chun-lin, et al. Tri-element integrated technology of high resolution MS, internet, and digital science constitutes technical platform for pesticide residues[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2017, 32(12):1384-1396.
- [13] 向甦州,王富华,杜应琼,等. 深圳市销售领域蔬菜农药残留调查与评价[J]. 广东农业科学, 2012, 39(13):225-228.  
XIANG Su-zhou, WANG Fu-hua, DU Ying-qiong, et al. Investigate and assessment on pesticide residues on vegetables in Shenzhen City [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39(13):225-228.
- [14] Ahmed M, Mamun M S A. Organic pollutants in food: Current status of pesticide residues in Bangladesh tea[C]. Seminar on Organic Pollutants in Food, Agricultural Products and Environment, Sweden: University of Dhaka and Uppsala University, 2012:141-148.
- [15] Reichstein I, Healy K, James A, et al. Australian national residue survey - closing the loop on pesticide residue risk management for Australian grain[J]. *Julius-Kühn-Archiv*, 2010, 425:888-893.
- [16] 张福金,张欣昕,李国银,等. 近十年内蒙古产地蔬菜农药残留状况及规律性分析[J]. 中国蔬菜, 2013(14):81-87.  
ZHANG Fu-jin, ZHANG Xin-xin, LI Guo-yin, et al. Status of pesticide residue and regulation analysis in vegetables produced in Inner Mongolia during the past decade[J]. *China Vegetables*, 2013(14):81-87.
- [17] 王冬群,韩敏晖,陆宏,等. 慈溪市蔬菜农药残留时空变化及质量安全风险评估[J]. 浙江农业学报, 2009, 21(6):609-613.  
WANG Dong-qun, HAN Min-hui, LU Hong, et al. The temporal-spatial dynamic changes of pesticide residues in vegetables and the risk evaluation of the vegetable quality and safety in Cixi City[J]. *Acta Agricultural Zhejiangensis*, 2009, 21(6):609-613.
- [18] 宋靖宇,曹楚瑾,高鑫涛,等. 武汉市某市场蔬菜农药残留的时序变化及其特征[J]. 职业与健康, 2016, 32(4):490-493.  
SONG Jing-yu, CAO Chu-jin, GAO Xin-tao, et al. Temporal variation and characteristics of pesticide residue in vegetable in a market of Wuhan City[J]. *Occup and Health*, 2016, 32(4):490-493.
- [19] Jean S, Benoit M, Bosco T J, et al. Contamination of cowpea and by-products by organophosphorous pesticide residues in Ngaoundere markets: Dietary risk estimation and degradation study[J]. *African Journal of Food Science*, 2013, 7(5):92-102.
- [20] Tscheikner-Gratl F, Egger P, Rauch W, et al. Comparison of multi-criteria decision support methods for integrated rehabilitation prioritization[J]. *Water*, 2017, 9(2):68.
- [21] 陈谊,刘莹,陈星如,等. 基于可视分析的农药残留污染仿真评估方法[J]. 计算机仿真, 2017, 34(10):347-351.  
CHEN Yi, LIU Ying, CHEN Xing-ru, et al. Simulation and evaluation method for pesticide residue pollution based on visual analysis techniques[J]. *Computer Simulation*, 2017, 34(10):347-351.
- [22] 杜栋,庞庆华,吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京:清华大学出版社, 2015:3-8.  
DU Dong, PANG Qing-hua, WU Yan. Modern comprehensive evaluation methods and case selection[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015:3-8.
- [23] 邓雪,李家铭,曾浩健,等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7):93-100.  
DENG Xue, LI Jia-ming, ZENG Hao-jian, et al. Research on computation methods of AHP wight vector and its application[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2012, 42(7):93-100.
- [24] 陈华友. 熵值法及其在确定组合预测权系数中的应用[J]. 安徽大学学报(自科版), 2003, 27(4):1-6.  
CHEN Hua-you. Entropy method and application to determine weights of combination forecasting[J]. *Journal of Anhui University Natural Science Edition*, 2003, 27(4):1-6.
- [25] Liang J, Shi Z, Li D, et al. Information entropy, rough entropy and knowledge granulation in incomplete information systems[J]. *International Journal of General Systems*, 2006, 35(6):641-654.